

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **08030799 A**

(43) Date of publication of application: **02.02.96**

(51) Int. Cl.

G06T 11/20
G06F 17/50
G06T 1/00
G06T 7/00

(21) Application number: **06160819**

(71) Applicant: **FUJITSU LTD**

(22) Date of filing: **13.07.94**

(72) Inventor: **MIMATSU KAZUO**
SUGIYAMA KOZO

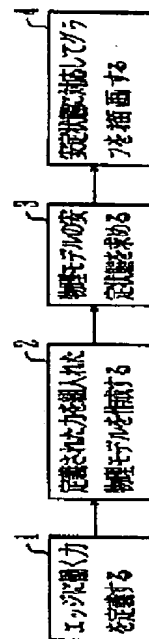
(54) **AUTOMATICALLY LAYING OUT METHOD FOR GRAPH**

(57) Abstract:

PURPOSE: To carry out the layout of plural kinds of edges in accordance with each separate rule, regarding the automatically laying out method for graph which is composed of plural edges showing plural nodes and an inter-node relation.

CONSTITUTION: The force working on an edge to control the direction of the edge is defined 1. A physical model for a graph is prepared by incorporating the force 2. The stable state of the physical model is determined 3. The graph corresponding to the stable state is plotted 4.

COPYRIGHT: (C)1996,JPO



(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平8-30799

(43)公開日 平成8年(1996)2月2日

(51)Int.Cl.⁶

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

G 0 6 T 11/20

G 0 6 F 17/50

G 0 6 T 1/00

9365-5H

G 0 6 F 15/ 72

3 6 0

9191-5H

15/ 60

3 6 0 A

審査請求 未請求 請求項の数17 O L (全 20 頁) 最終頁に続く

(21)出願番号

特願平6-160819

(22)出願日

平成6年(1994)7月13日

(71)出願人 000005223

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地

(72)発明者 三末 和男

神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地

富士通株式会社内

(72)発明者 杉山 公造

神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地

富士通株式会社内

(74)代理人 弁理士 大菅 義之 (外1名)

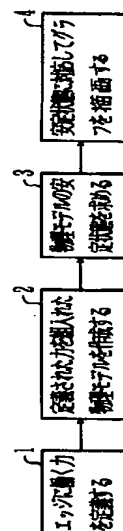
(54)【発明の名称】 グラフ自動レイアウト方法

(57)【要約】

【目的】 複数のノードと、ノード間の関係を示す複数のエッジとから成るグラフの自動レイアウト方法に関し、複数種類のエッジをそれぞれ別の規則に従ってレイアウト可能とすることを目的とする。

【構成】 エッジの向きの制御のためにエッジに働く力を定義し、該力を組み入れてグラフに対する物理モデルを作成し、該物理モデルの安定状態を求め、該安定状態に対応してグラフを描画するように構成する。

本発明の機能ブロック図



【特許請求の範囲】

【請求項1】 複数のノードと、該複数のノードの間の関係を示す複数のエッジから構成されるグラフの各ノードの位置を決定するグラフレイアウト方法において、前記エッジの向きを制御するために該エッジに働く力を定義し（1）、前記グラフに対応して、該定義された力を組み入れた物理モデルを作成し（2）、該物理モデルの安定状態を求め（3）、該安定状態に対応してグラフを描画する（4）ことを特徴とするグラフ自動レイアウト方法。

【請求項2】 請求項1において、前記エッジに働く力が該エッジの両端に働く回転力であることを特徴とするグラフ自動レイアウト方法。

【請求項3】 請求項1または2において、前記複数のノードのうちの一部のノードがあらかじめ限定された範囲に位置するとの条件の下で、前記物理モデルの安定状態を求めることを特徴とするグラフ自動レイアウト方法。

【請求項4】 請求項1, 2, または3において、前記物理モデルに対して逐次的に該物理モデルにおけるノードの位置の修正を繰り返すことによって、前記安定状態を求めることを特徴とするグラフ自動レイアウト方法。

【請求項5】 請求項1, 2, または3において、前記グラフに対応して、前記エッジを仮想的な方位磁針とし、該エッジと前記ノードが仮想的な磁場に置かれたとする物理モデルを作成することを特徴とするグラフ自動レイアウト方法。

【請求項6】 請求項1, 2, または3において、前記グラフに対応して、前記エッジを仮想的な方位磁針の性質を持つスプリングであるマグネティック・スプリングとし、該エッジと前記ノードが仮想的な磁場に置かれたとする物理モデルを作成することを特徴とするグラフ自動レイアウト方法。

【請求項7】 請求項5, または6において、前記エッジが、前記仮想的磁場のN極、またはS極のどちらかを向く特殊な方位磁針であることを特徴とするグラフ自動レイアウト方法。

【請求項8】 請求項5, 6, または7において、前記エッジのうちの一部のみを方位磁針、または前記マグネティック・スプリングとすることを特徴とするグラフ自動レイアウト方法。

【請求項9】 請求項5, 6, 7, または8において、前記仮想的磁場が向き一様の平行磁場であることを特徴とするグラフ自動レイアウト方法。

【請求項10】 請求項5, 6, 7, または8において、前記仮想的磁場が、その向きがある一点から放射状に外

向きの、またはある一点に向かって放射状に内向きの放射状磁場であることを特徴とするグラフ自動レイアウト方法。

【請求項11】 請求項5, 6, 7, または8において、前記仮想的磁場が、その向きがある一点を中心とした同心円状時計回り向きの、または反時計回り向きの同心円磁場であることを特徴とするグラフ自動レイアウト方法。

【請求項12】 請求項5, 6, 7, または8において、前記仮想的磁場が、2種以上の磁場の組み合わせの複合磁場であり、前記方位磁針、またはマグネティック・スプリングが該2種以上の磁場のうちの1つ以上から影響を受けることを特徴とするグラフ自動レイアウト方法。

【請求項13】 請求項5, 6, 7, 8, または12において、前記磁場あるいは複合磁場が、前記物理モデルに対して局所的に影響を与えることを特徴とするグラフ自動レイアウト方法。

【請求項14】 請求項5, 6, 7, 8, または12において、前記磁場あるいは複合磁場が動的に変化するものであり、該動的変化に対応して前記物理モデルの安定状態を求めることを特徴とするグラフ自動レイアウト方法。

【請求項15】 請求項5, 6, 7, 8, または12において、前記磁場あるいは複合磁場が時間と共に動的に変化するものであり、該動的変化に対応して逐次的に前記物理モデルにおけるノードの位置の修正を繰り返すことによって前記安定状態を求めることを特徴とするグラフ自動レイアウト方法。

【請求項16】 請求項1において、前記エッジに働く力が該エッジに働く重力であることを特徴とするグラフ自動レイアウト方法。

【請求項17】 請求項1において、前記エッジに働く力が電場によって該エッジに働く力であることを特徴とするグラフ自動レイアウト方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は計算機科学をはじめとする多様な分野で、様々な構造を表現するために利用されているグラフの自動レイアウト方法、すなわちノードの集合とノードの関係を示すエッジの集合から構成されるグラフにおけるノードの位置を自動的に決定して、グラフを描画するグラフ自動レイアウト方法に関する。

【0002】

【従来の技術】 グラフは情報科学や工学をはじめ様々な分野で多様な構造（ネットワーク、処理フロー、組織構造など）を表現するために利用されている。グラフは数

学的には（グラフ理論では）ノードとエッジからなるトポロジカルな構造であり、その構造を分かりやすく図に描くことは人間にとって面倒な作業であるため、計算機に自動的に描かせたいという要求がある。また、グラフの描き方も実際には応用（グラフが実際に表現するもの、ネットワークや組織構造など）に依存し、応用によって分かりやすさの基準も変わってくる。たとえば、あらゆる関係が数学的にはエッジという一種類のもので表されても、応用においては様々な関係（つまり様々な種類のエッジ）があり、その種類ごとに描き方を変えたいこともしばしばある。

【0003】グラフを自動的にレイアウトする方法はすでに数多く考えられている。既存の自動レイアウトの方法で代表的なものを挙げておく。有向グラフ（エッジが向きをもつグラフ）を対象にした自動レイアウトの方法のなかで最も多く利用されているのは「スギヤマ・アルゴリズム」と呼ばれているもの、あるいはその変形である。有向エッジが同一向き（たとえば下）を向くようにノードを平行線上に配置するもので、有向エッジによって表された全体の「流れ」が分かりやすいことが特徴である。スギヤマ・アルゴリズムの詳細は次の文献に述べられている。

【0004】Sugiyama, K. et al, IEEE Trans. SMC Vol. 11, No. 2, pp. 109-125 (1981)

次に無向グラフ（エッジが向きを持たないグラフ）を対象にした自動レイアウトの方法のなかで最も多く利用されているものは「スプリング・アルゴリズム」あるいはより一般的に「力指向法」と呼ばれている種類のものである。グラフを仮想的な物理モデルにあてはめ、ノード間に働く引力や斥力を定義し、安定状態を求めることで適切なレイアウトを見つけるものである（たとえば、各ノードを質量0、大きさ0のリングとみなし、また各エッジをリングをつなぐスプリングとみなして、全スプリングのもつエネルギーが最小、あるいは極小となる状態を求める）。この方法はグラフの対称性などが分かりやすいことが特徴である。スプリング・アルゴリズムについては次の文献が代表的なものである。

【0005】Eades, P., Congressus Numerantium Vol. 42, pp. 149-160 (1984)

図3 2は従来の力指向法によるグラフのレイアウトの説明図である。ノード間に働く力がスプリングの力として表されている。またスプリングによって連絡されていない2つのノード間には仮想的な斥力が働くものとされる。この斥力は他のノード間に働くスプリング力とは無関係の仮想的な力である。

【0006】グラフによっては無向エッジと有向エッジが混在し、かつ無向エッジに種類がある場合も考えられる。図3 3は多数の問題の間の相互関係を表す問題マップの例である。同図において問題の間には、相互に関連する問題、相互に依存する問題、一般的な問題と特殊な

問題、および相互に対立する問題と言う4種類の関係があり、このうち一般的な問題から特殊な問題への関係は向きのある矢印によって表わされる有向な関係であり、残りの3種類は特に向きのない関係、すなわち無向な関係である。この問題マップを、有向なエッジと無向なエッジが存在する混在グラフとして描く場合に、有向なエッジと無向なエッジとを区別することは当然として、無向なエッジでもその関係毎に描き方を替えて、グラフをレイアウトすることが望ましい。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】このように従来のグラフレイアウト方法は、平面上でのエッジの向きを特別に限定しないか、または平面上でのエッジの向きを同一の向きにそろえるかのいずれかを行うものであった。前者は無向グラフのレイアウト法に多く、また後者は有向グラフのレイアウト法に多いものであった。

【0008】例えば二分木を対象として右の子ノードを指すエッジと左の子ノードを指すエッジを、右と下のようにより別々の向きに向ける方法があったが、これは対象を限定した特殊な例であり、例えばある種類のエッジは同一の向きにそろえ、それ以外の種類のエッジの向きは特に限定しないと言うように、一般的にエッジの向きが複数の種類の規則に従うようにレイアウトする方法はないと言う問題点があった。

【0009】例えば図3 3において、一般的な問題に対して特殊な問題を下側に配置し、対等な関係にある問題は横に並べるようなグラフレイアウトを自動的に行う方法は存在しなかった。なお、図3 3はM.J. Bickerton, A Practitioner's Handbook of Requirements Engineering Methods and Tools, Oxford Univ., 1992. のFigure 5に示されている。

【0010】本発明は、例えば有向エッジと無向エッジとが混在するグラフの有向エッジと無向エッジとを別々の規則に従ってレイアウトしたり、有向グラフ、または無向グラフにおいて、複数種類のエッジをそれぞれ別の規則に従ってレイアウト可能とすることを目的とする。

【0011】

【課題を解決するための手段及び作用】図1は本発明の機能ブロック図である。同図は複数のノードと、その複数のノードの間の関係を示す複数のエッジから構成されるグラフの各ノードの位置を決定するグラフ自動レイアウト方法の機能ブロック図である。

【0012】本発明においては、図1の1でエッジの向きを制御するために、エッジに働く力が定義され、2で定義された力を組み入れて、グラフに対応する物理モデル、例えば方位磁針とスプリングの性質を持つマグネティック・スプリングによってエッジが表わされた結果としてのグラフが仮想的な磁場に置かれたとする物理モデルが作成される。

【0013】例えばエッジがマグネティック・スプリ

グによって表される場合には、エッジに働く力は磁場による回転力であり、この回転力と、例えばスプリングによる引力、または斥力などが働く物理モデルが作成される。

【0014】続いて図1の3で、その物理モデルの安定状態が、例えば逐次的に物理モデルにおけるノードの位置の修正を繰り返すことによって求められ、4でその安定状態に対応してグラフの描画すなわち表示が行われる。

【0015】前述の力指向法では、ノード間に働く引力や斥力の定義によって物理モデルが作成され、そのモデルの安定状態を求めてグラフのレイアウトが決定された。これに対して本発明においては、物理モデル作成に際してグラフのエッジに働く力が定義されることが大きな特徴である。エッジに働く力、特に回転力の定義によって、従来の力指向法におけるノード間に働く力だけでは制御が困難であったエッジの向きの制御が可能となる。

【0016】本発明においてはエッジが方位磁針であり、エッジとノードによって構成されるグラフが仮想的な磁場に置かれたものとして、物理モデルの安定状態が求められる。方位磁針で表わされるエッジには、例えば磁場のN極を向くような回転力が働くことになる。実際問題としてはノード間の距離も制御することによって、グラフのレイアウトを能率的に行うことができるために、エッジに働く力だけでなく、ノード間に作用する力も併用したモデルが用いられる。すなわちエッジが方位磁針の性質を持つマグネティック・スプリングであるとして物理モデルが作成され、そのモデルが磁場に置かれた時の安定状態が求められる。

【0017】本発明で用いられる磁場は、物理モデルにおいてエッジに力を働かせるための仮想的なものであり、実際の物理的な磁場と同じ性質を持つものでは必ずしもない。例えば2種類以上の互いに影響し合わない磁場を同時に発生させ、物理モデルの安定状態を求めることも可能である。エッジを表す方位磁針が、複数の種類の磁場のうちで特定の磁場からだけ力を受けるとすることにより、エッジの種類毎に異なる規則でその向きを制御することが可能となる。

【0018】以上のように本発明によれば、エッジを例えば方位磁針の性質を持つマグネティック・スプリングによって表し、物理モデルの安定状態が求められる。

【0019】

【実施例】図2は本発明のグラフ自動レイアウト方法を実現するためのコンピュータシステムの全体構成ブロック図である。同図(a)に示すようにコンピュータシステム全体は一般的なものであり、中央処理装置(CPU)10、入出力装置11、およびメモリ12などからなるものである。メモリ12は、グラフ自動レイアウトのためのプログラムなどを格納するプログラム格納領域12

a、およびグラフ自動レイアウトのためのデータを格納するグラフデータ格納領域12bを備えている。

【0020】図2(b)はプログラム格納領域12aと、グラフデータ格納領域12bの詳細説明図である。同図において、グラフデータ格納領域12bのデータはグラフデータそのもの13と、物理モデルにおける磁場を表す磁場データ14から構成されている。ノードデータ13aはノードの位置、そのノードと結合しているエッジ、ノードの属性、すなわちノードの形、サイズ、色、線の種類などのデータであり、エッジデータ13bは、マグネティック・スプリングとしてのスプリングによる力の強さを計算するためのエッジの理想的長さ、結合しているノードの他に、エッジの属性としての向き、線の種類、線の幅、どの磁場に影響を受けるか、エッジの色などのデータが格納されている。これらのグラフデータは入出力装置11を介して、例えばユーザから入力され、またグラフのレイアウト結果は入出力装置11としてのディスプレイなどに表示されて出力される。

【0021】プログラム格納領域12aには、グラフ自動レイアウトの全体を管理する総合管理部15、ノードの初期配置を求める初期配置計算部16、ノードデータ13a、エッジデータ13b、および磁場データ14を用いてノードの位置修正量を求める修正量計算部17、修正量計算部17の出力に基づいてノードの位置の修正を行う位置修正部18、総合管理部15の制御に応じてノード位置の修正繰返し回数を管理する繰返し管理部19を備えている。

【0022】図3は本発明におけるマグネティック・スプリングを用いた物理モデルによるグラフのレイアウト方法の説明図である。同図において、グラフのエッジがマグネティック・スプリングによって表され、そのグラフが仮想的な磁場に置かれるものとして物理モデルの安定状態が求められる。ここで物理モデルに働く力はスプリングによる引力、または斥力、隣接していない、すなわちエッジで結合されていないノード間に働く斥力、およびエッジが磁場から受ける回転力である。このうち隣接していないノード間に働く斥力は、スプリングによる力でもなく、また磁場から受ける力でもない仮想的な力である。

【0023】これらの力の合力として各ノードに働く力が求められ、その力によってノードの位置の修正量が計算され、少しずつノードの位置を修正することを繰り返してレイアウトが変更されていく。全ノードに働く力が0となり、安定状態が達成されるまで、または一定回数だけの繰返し処理が行われる。

【0024】図4は本発明の自動レイアウト方法の原理的な全体処理フローチャートである。同図において、ステップ(S)1において方位磁針を使ってグラフのモデル化が行われ、ステップS2で仮想的な磁場が用意され、S3でグラフを仮想的な磁場に置いたものと仮定し

て、その安定状態が求められる。なおこれらの処理のうち、S2までの処理は、図2(b)においてグラフデータ13などを入力する処理に相当し、実際にグラフの自動レイアウトを行う処理はS3において行われる。

【0025】図5は本発明のグラフ自動レイアウト方法の一般的な処理手順の説明図である。同図において処理が開始されると、まずS10で初期配置としてノードの初期配置などが決定され、S11で例えば処理終了までのノード位置修正の繰返し回数などの初期設定が行われ、繰返し処理が開始される。

【0026】続いてS12でノード位置修正の繰返しを継続すべきか否かが判定され、継続すべき場合にはS13でノード位置修正量が計算される。このノード位置修正量は前述のスプリングによる力、隣接していないノード間に働く斥力、及びエッジに働く磁場による回転力の合力に基づいて計算される。

【0027】ノード位置修正量が求められると、S14でノード位置の修正が行われ、S15で繰返し処理を行うための、例えば繰返し回数のインクリメントが行われ、S12以降の処理が繰返される。そしてS12で繰返しを継続すべきでないと判定された時点で処理を終了する。

【0028】図6はグラフ自動レイアウト方法の実施例の全体処理フローチャートである。同図において処理が開始されると、まずステップS20で初期配置としてノードの初期位置などが決定され、S21で初期設定として繰返し回数を示すkの値が“0”とされ、S22でkが繰返し回数の最大値Mより小さいか否かが判定される。

【0029】Mより小さい時にはS23で全てのノードの位置の修正量を求めるために、各ノードに働く力が計算され、S24でノードの位置が修正され、S25で繰返し回数を示すkの値がインクリメントされ、S22以降の処理が繰返される。そしてS22でkがMより小*

*さくないと判定された時点で処理を終了する。

【0030】図7は図6におけるステップS20、すなわち初期配置の詳細フローチャートである。同図において処理が開始されると、まずステップS30でノードの番号を示すiが“0”とされ、S31でノード番号iがNより小さいか否かが判定される。

【0031】Nより小さい時には、S32でそのノードの位置を、例えば後述する(1)式によって計算し、S33でノード番号を示すiの値がインクリメントされ、S31以降の処理が繰返され、S31でノード番号iがNより小さくないと判定された時点で処理を終了する。

【0032】図8は図6のステップS23、すなわち全てのノードに働く力の計算処理の詳細フローチャートである。同図において処理が開始されると、まずステップS35でノードの番号を示すiが“0”とされ、S36でiがNより小さいか否かが判定される。

【0033】Nより小さい時には、S37でノード位置修正量を計算するための基本となるノードiに働く力 f_i が計算され、S38でiの値がインクリメントされ、S36以降の処理が繰返され、S36でiがNより小さくないと判定された時点で処理を終了する。

【0034】図9は1つのノードに働く力の計算、すなわち図8におけるステップS37の詳細処理フローチャートである。同図の処理を説明する前に、本発明におけるノードの初期配置とノードに働く力を詳細に説明する。

【0035】本実施例に示す、逐次的にノードの位置を修正していく方法によって得られるレイアウトはノードの初期配置に依存するため、初期配置の決め方も重要である。有効な初期配置として、例えば、円周上に等間隔で配置する方法がある。この方法ではi番目ノード v_i の初期座標は下の関数pで与えられる。

【0036】

【数1】

$$p(i) = (r \cdot \cos(i \cdot \frac{2\pi}{N}), r \cdot \sin(i \cdot \frac{2\pi}{N}))$$

【0037】半径rはノード間の弧の長さが1になるように次のように選ぶ。

【0038】

【数2】

$$r = \frac{1 \cdot N}{2\pi}$$

【0039】次にノードに働く力については、各ノードには3種類の力が働くとする。エッジをスプリングとみなしたときのスプリングによる力、隣接していないノード間に働く斥力、エッジを磁針とみなしたときに磁場から受ける回転力による力、である。そしてそれら全ての

合力 f_i を各ノード v_i が受けるとする。

【0040】全てのエッジはスプリングとみなされ、両端のノードはそのスプリングによって引力あるいは斥力を受ける。エッジ(スプリング)の一方のノードがそのスプリングから受ける力を f_s で表す。その大きさは、例えば、下のようにして計算できる(スプリングによる力是一般的にフックの法則に従うが、ここでは、その力はフックの法則に従わない仮想的なものとする)。

【0041】

【数3】

$$|f_s| = c_s \cdot \log \frac{d}{d_s}$$

【0042】このとき、 d は現在のスプリングの長さ、 d_0 はスプリングの自然長（エッジの理想的な長さ）、 c_s は他の力とのバランスを制御するための定数である。力の向きは、スプリングのもう一方の端のノードを見た向きである。引力と斥力では力の向きが逆になるが、上の式(3)により斥力の場合には力の大きさが負になるため形式的には引力と同じ向きと考えてよい。

【0043】隣接していないノード間には斥力が働くとする。1つのノードが隣接していない別の1つのノードから受ける斥力を f_r で表す。その大きさは、例えば、
10 下のようにして計算できる。この式は前述の文献 (Eades, P.)内の斥力の式における“2”を一般的に p_r とおいたものである。

【0044】

【数4】

$$|f_r| = \frac{c_r}{d^{p_r}}$$

*

$$|f_m| = \begin{cases} c_m \cdot b \cdot d^{q_m} \cdot t^{p_m} & t \geq 0 \\ -c_m \cdot b \cdot d^{q_m} \cdot (-t)^{p_m} & t < 0 \end{cases}$$

【0048】ここで、 t はエッジの基準点（磁針に対して磁場の向きを調べる点、磁場の向きがエッジの各点において同じであるという保証がないため基準点を設ける必要がある；例えば、エッジの中点）における磁場のN極（またはS極）の向きからのヘッド（またはテイル）のずれの角である。つまり、磁場の向きを ϕ （単位：ラジアン）とした時、力を受けるノードがヘッドの場合には、テイル側からヘッドを見た向きを α とすると、図10(b)に示すように、

【0049】

【数6】

$$t = \alpha - \phi \pm 2\pi n$$

【0050】力を受けるノードがテイルの場合には、図10(c)に示すように β をとると、

【0051】

【数7】

$$t = \beta - (\phi + \pi) \pm 2\pi n$$

【0052】となる。ただしいずれの場合も t が $-\pi < t \leq \pi$ の正規化された値を取るように $n=0, 1, \dots$ とする。 p_m は t （磁場の向きからの磁針のずれの角の大きさ）の回転力への影響を制御する。つまり、 p_m を大きくするほど、ずれが大きくなったときの回転力の増加の仕方が急激になる。 d は現在のエッジの長さで、 q_m はエッジ（磁針）の長さの回転力への影響を制御する。つまり q_m を大きくすると長いエッジほど強い力で磁場の向きを向こうとする。 b は基準点における磁場の

* 【0045】このとき、 d は現在のノード間の距離、 p_r はその距離の斥力の大きさへの影響を制御する。つまり p_r を大きくするほどノードが近づいたときの斥力の増加の仕方が急激になる。 c_r は他の力とのバランスを制御するための定数である。向きは力を及ぼし合うノードの反対を向く。

【0046】いくつかの、あるいは全部のエッジは図10(a)に示すように、磁針とみなされ、グラフの置かれた磁場から回転力を受ける。つまり、有向エッジの場合にはヘッドがN極を、テイルがS極を向くように回転力を受ける。エッジ（磁針）の一方のノードがその磁針の回転力として受ける力を変数 f_m で表す。その大きさは、例えば、仮想的に下のようにして計算できるものとする。

【0047】

【数5】

強さ、 c_m は他の力とのバランスを制御するための定数である。

【0053】力の向きは、 $t > 0$ のときは、時計回りに回転力が働くため、もう一方の端のノードを見た向きから $\pi/2$ 反時計回りに回転させた向き、 $t < 0$ のときは、反時計回りに回転力が働くため、もう一方の端のノードを見た向きから $\pi/2$ 時計回りに回転させた向きとする。

【0054】以上に説明したような力がノードに働くものとして、図9のフローチャートを説明する。図9において処理が開始されると、まずステップS40においてノード i に働く力 f_i が“0”とされ、S41でノード i を除く他のノードの番号 j が“0”とされ、S42で j がNより小さいか否かが判定される。

【0055】Nより小さい時にはS43で i と j が等しくないか否かが判定され、等しくない時にはS44でノード番号 i のノードとノード番号 j のノードとが隣接しているか否かが判定される。隣接している時にはS45でスプリングによる力 f_s と磁場による回転力 f_m が求められ、S46でその和が f とされる。

【0056】これに対してノード番号 i と j のノードが隣接していないと判定された時には、S47で隣接していないノードの間に働く斥力 f_r が求められ、S48でその値が f とされる。

【0057】その後、S49でノード番号 i のノードに働く力の現在値 f_i にS46、またはS48で求められ

た f が加算され、ノード番号 i のノードに働く力 f_i が求められ、S50で他のノードのノード番号 j の値がインクリメントされ、S42以降の処理が繰り返される。S43で i と j とが等しいと判定された時には、力の計算を行う必要がないのでS42以降の処理が繰り返される。そしてS42で j が N より小さくないと判定された時点で処理を終了する。

【0058】図11は図6のステップS24、すなわちノード位置修正処理の詳細フローチャートである。同図において処理が開始されると、ステップS52でノード番号を示す i の値が“0”とされ、S53で i の値が N より小さいか否かが判定され、小さい時にはS54で i 番目のノードの位置の移動が行われる。

【0059】ここで移動量は図9において求められた i 番目のノードに働く力 f_i の s 倍とされる。この s の値としては例えば0.1と言うような小さな値が用いられる。繰返し回数が進むにつれて、この s の値を小さくすることによって、例えばシミュレーテッドアニーリングと同様に安定化状態を求めることができる。

【0060】続いてS55でノードの番号を示す i の値がインクリメントされ、S53以降の処理が繰り返され、S53において i が N より小さくないと判定された時点で処理を終了する。

【0061】図12はグラフを構成するノードのうちの一部の位置を固定した状態で物理モデルの安定化状態を求め、グラフ自動レイアウトを行う場合のノード位置修正処理の詳細フローチャートである。同図を図11のフローチャートと比較すると、ステップS53でノード番号 i が N より小さいと判定された後に、S57でそのノードが固定、すなわちアンカーであるか否かが判定され、アンカーでない時にはS54でノードの位置の移動が行われ、アンカーである時にはノードの位置の移動が行われることなく、S55の処理に移行する点のみが異なっている。

【0062】続いて本発明で用いられる磁場の実施例について説明する。図13は平面上のどの位置においても向きが一定の平行磁場を示す。この磁場は、座標が (x, y) の位置の磁場の大きさを $b(x, y)$ として次式で表される。

【0063】

【数8】

$$B(x, y) = b(x, y) \cdot u$$

【0064】ここで、 u は磁場の向きを表す単位ベクトル、 $b(x, y)$ は (x, y) における磁場の強さである。平行磁場を用いることでレイアウトされたグラフの例を図14に示す。この例においては磁場の強さは $b(x, y) = 1$ 、つまりどこでも一定としている。平行磁場を用いてレイアウトされたグラフではエッジがほぼ

一方向を向くため、グラフ全体の表す流れなどを把握しやすい。

【0065】図14(a)は本発明において初期配置から磁場を与えることなく、ノード位置の修正を行いながらグラフの自動レイアウトを行った結果であり、同図(b)は同様に初期配置から平行磁場を与えることによってノード位置の修正を行いながら、グラフの自動レイアウトを行った結果である。図(b)においては、全てのエッジが図13に示した平行磁場の方向、すなわち右向きとなっている。

【0066】図15～図17は前述の初期配置から図14(b)のレイアウト結果を得るまでの途中経過の説明図である。同図において、 M はノード位置の修正の繰返し回数、CPUはグラフ自動レイアウト処理の処理時間を示す。図15においては $M=0$ の初期配置から5回目の繰返し処理が行われるまでの途中経過を、また図16は6回目から11回目までの繰返し処理が行われる間の途中経過を、また図17は12回目から17回目までの繰返し処理が行われるまでの途中経過を示し、17回目の繰返し処理の結果は図14(b)の結果とほぼ同様となっている。

【0067】本発明においては、図14(a)に示す磁場を与えないで行われた自動レイアウトの結果から、同図(b)に示す磁場を与えてレイアウトした結果を求めることも可能である。図18、および図19はその場合の途中経過の説明図である。

【0068】図18において、まず図14(a)の結果を示す $M=100$ 、 $CPU=0.62$ の結果を基にして処理が開始される。ここで CMF は前述の磁場による回転力と他の力とのバランスを制御するための定数 c_m を表すものであり、図14(a)の結果はその係数を“0”としたノード位置修正を100回繰返し得られたことがわかる。

【0069】図14(a)から出発してノード位置の修正を5回目まで行った結果が図18である。6回目から11回目までの結果が図19である。図19において11回目の修正の結果は図14(b)の結果にかなり近づいている。

【0070】図20は、図12で説明したように、一部のノードの位置を固定した状態でグラフ自動レイアウトを行った場合の途中経過を示す。同図においても、図14(a)の結果から、同図(b)の結果を得るまでの、ノード位置修正処理の繰返し回数に対応する途中経過が示される。(a)の結果から出発してノード0と3の位置を固定した状態で、100回のノード位置修正処理を繰返すことによって、図14(b)の結果が得られることが示されている。

【0071】図21は有向エッジと、無向エッジとが存在する混在グラフを対象とするグラフ自動レイアウトの説明図である。同図(a)は初期配置から、磁場を与えることなくノード位置の修正を繰返して、グラフ自動レイアウトを行った結果を示し、また同図(b)は図13と

同様の、下向きの平行磁場を与えてレイアウトした結果を示す。この図(b)では無向エッジの方向はバラバラであるが、有向エッジは下向きにそろっていることがわかる。

【0072】図22は図21(a)の結果から出発して同図(b)の結果を得るまでの途中経過の説明図である。同図において図21(a)の結果、すなわちCMFを“0”とした800回のノード位置修正処理によって得られた結果から、100回のノード位置修正処理を行うことにより、図21(b)に類似した結果が得られることが示されている。

【0073】磁場の次の実施例は放射状磁場である。図23に示すように、ある点を中心に放射状に外側に、または内側に向く磁場を放射状磁場と呼ぶことにする。外側に向く放射状磁場は次のように表される。

【0074】

【数9】

$$B(x, y) = b(x, y) \cdot \frac{(x-x_0, y-y_0)}{|(x-x_0, y-y_0)|}$$

【0075】ここで、点 (x_0, y_0) は放射状磁場の中心であり、 $b(x, y)$ は点 (x, y) における磁場の強さである。放射状磁場を用いることでレイアウトされたグラフの例を図24に示す。この例においては磁場の強さは $b(x, y) = 1$ ；つまりどこでも一定としている。

【0076】次に、図25に示すように、ある点を中心に同心円状に時計回りあるいは反時計回りに向く磁場を同心円磁場と呼ぶことにする。時計回りの同心円磁場は次のように表される。

【0077】

【数10】

$$B(x, y) = b(x, y) \cdot \frac{(y-y_0, -x+x_0)}{|(y-y_0, -x+x_0)|}$$

【0078】ここで、点 (x_0, y_0) は同心円状磁場の中心であり、 $b(x, y)$ は点 (x, y) における磁場の強さである。同心円状磁場を用いることでレイアウトされたグラフの例を図26に示す。この例においては磁場の強さは $b(x, y) = 1$ 、つまりどこでも一定としている。循環構造(サイクル)をもつグラフを同心円状磁場を用いてレイアウトするとその循環構造が把握しやすくなる。すなわち、磁場を与えない、図26(a)のレイアウト結果ではどこにサイクルがあるかすぐにはわからないが、同図(b)のように同心円磁場を与えてレイアウトした結果ではサイクルの様子が明確となる。

【0079】前述のように本発明で用いられる磁場は自然界に存在する磁場ではなく、仮想的なものであるために、人工的に自由にその性質を与えることができる。その1つとして上述のような平行磁場、放射状磁場、同心

円磁場のような磁場の2つ以上を、互いに影響を及ぼし合わないものとして組み合わせて、複合磁場として利用することができる。その1つの例が直交平行磁場である。

【0080】向きが互いに直交している2つの平行磁場からなる複合磁場を直交平行磁場(図27参照)と呼ぶ。このような磁場は次のように表される。

【0081】

【数11】

$$B_1(x, y) = b_1(x, y) \cdot u_1$$

$$B_2(x, y) = b_2(x, y) \cdot u_2$$

【0082】ここで、 u_1 と u_2 は互いに直交する単位ベクトルである。 $b_1(x, y)$ は点 (x, y) における第1の磁場の強さ、 $b_2(x, y)$ は点 (x, y) における第2の磁場の強さである。

【0083】直交平行磁場を用いることでレイアウトされたグラフの例を図28に示す。この例においては磁場の強さは $b_1(x, y) = b_2(x, y) = 1$ 、つまりどこでも一定としている。直交平行磁場を用いてレイアウトされたグラフでは、その構造のもつ2種類の流れが把握しやすくなる。すなわち、図28(a)のように磁場を与えないでレイアウトした結果では二分木の構造は明確であってもエッジの方向はバラバラであるのに対して、同図(b)ではエッジの方向が右向き、または下向きにそろっている。

【0084】更に磁場の実施例として動的な磁場を考えることができる。例えば放射状磁場や同心円磁場において、磁場を規定する点、例えば円の中心などを固定せずに動的なものとして用いることができる。ある特定のノードの座標を磁場を規定する点として用いることにより、グラフの変形に伴って磁場も変化させることができ、放射状磁場などで特定のノードを中心とした配置を行うことが容易になる。

【0085】最後に無向エッジの方向の制御について説明する。多くの場合、有向エッジは向きをそろえてレイアウトすることが望まれるのに対して、本来向きを持たない無向エッジでは向きをそろえることに意味はないが、その方向をそろえてレイアウトすることが望まれることはある(ここでは「向き」と「方向」は違う言葉として区別する。「向き」は北向き、南向きというように用いるのに対して、「方向」は南北の方向のように用い、北と南のどちらを向いているかは問題にしない)。そのように無向エッジをある方向にそろえるためには、マグネティック・スプリングの性質をN極、S極に関係なく、どちらか(例えば近い方)に向くように回転力が働くというように修正する。

【0086】例えば、エッジの midpoint における磁場の向きに近い方のノードが磁場の向きを向く(遠いほうのノードは磁場と逆の向きを向く)とするためには、式(6)や

10

20

30

40

50

(7)の代わりに下の式(12)を用いて t を求めればよい。
いま働く力を計算しようとしているノードをもう一方のノード側から見た向きを r とすると、

【0087】

【数12】

$$t = r - \phi \pm n\pi$$

【0088】となる。この場合、 t が $-\pi/2 < t < \pi/2$ の値を取るように $n=0, 1, \dots$ とする。図29は図27と同じ直交平行磁場を図21の混在グラフに与えてレイアウトを行った結果であり、有向エッジは下向きにそろい、無向エッジは水平方向にそろっている。

【0089】図30は図33で示した問題マップと同様の比較的簡単な問題マップのレイアウトの例の説明図である。同図(a)は人間がレイアウトした問題マップであり、実線が有向エッジを、また点線が無向エッジを表している。同図(b)は本発明の方法によって(a)と同じ問題マップを自動的にレイアウトした結果である。有向エッジは下方向にそろい、無向エッジはほぼ水平方向にそろっている。

【0090】図31は図33に示した問題マップ全体を自動レイアウトした結果である。これは1,200回のノード位置修正を繰り返した結果であり、有向エッジはほぼ下向きに、無向エッジはほぼ水平方向になっている。

【0091】

【発明の効果】以上詳細に説明したように、本発明によればグラフの自動レイアウトに際して有向エッジ、あるいは無向エッジの方向を制御することが可能となる。それによって、複数種類のエッジを持つ有向グラフのレイアウトにおいて各種のエッジをそれぞれ一定の方向に向かせたり、混在グラフのレイアウトにおいて有向エッジだけを一定方向に向かせたり、無向エッジも特定の方向にそろえろと言った制御が可能となる。これによって、例えば状態遷移図、データフロー図などの、様々な構造を表現するためのグラフを人間にとってより理解しやすくすることが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の機能ブロック図である。

【図2】本発明のグラフ自動レイアウト方法を実現するためのコンピュータシステムの構成を示すブロック図である。

【図3】マグネティック・スプリングを用いた物理モデルによるグラフのレイアウトの説明図である。

【図4】本発明のグラフ自動レイアウト方法の原理的なフローチャートである。

【図5】本発明のグラフ自動レイアウト方法の一般的な全体的処理手順の説明図である。

【図6】グラフ自動レイアウト方法の実施例の全体処理フローチャートである。

【図7】初期配置の詳細処理フローチャートである。

【図8】全てのノードに働く力の計算処理の詳細フロー

チャートである。

【図9】1つのノードに働く力の計算処理の詳細フローチャートである。

【図10】式(6)および式(7)の説明図である。

【図11】ノード位置修正処理の詳細フローチャートである。

【図12】ノード位置修正処理の他の実施例のフローチャートである。

【図13】平行磁場の説明図である。

【図14】平行磁場による有向グラフのレイアウト例を示す図である。

【図15】初期配置から図14(b)のレイアウト結果を得るまでの途中経過の説明図(その1)である。

【図16】初期配置から図14(b)のレイアウト結果を得るまでの途中経過の説明図(その2)である。

【図17】初期配置から図14(b)のレイアウト結果を得るまでの途中経過の説明図(その3)である。

【図18】図14(a)の結果から(b)の結果を得るまでの自動レイアウト処理における途中経過の説明図(その1)である。

【図19】図14(a)の結果から(b)の結果を得るまでの自動レイアウト処理における途中経過の説明図(その2)である。

【図20】一部のノードをアンカーとして固定した場合の図14(a)から(b)を得るまでの途中経過の説明図である。

【図21】平行磁場による混在グラフのレイアウトの例を示す図である。

【図22】図21(a)から(b)までの自動レイアウト処理の途中経過の説明図である。

【図23】放射状磁場の説明図である。

【図24】放射状磁場によるグラフのレイアウトの例を示す図である。

【図25】同心円磁場の説明図である。

【図26】同心円磁場によるグラフのレイアウトの例を示す図である。

【図27】直交平行磁場の説明図である。

【図28】直交平行磁場によるグラフのレイアウトの例を示す図である。

【図29】直交平行磁場による混在グラフのレイアウトの例を示す図である。

【図30】比較的簡単な問題マップの例の自動レイアウトの例を示す図である。

【図31】図33の問題マップの全体の自動レイアウト結果を示す図である。

【図32】従来の力指向法におけるスプリングを用いたモデルによるグラフのレイアウトの説明図である。

【図33】混在グラフの例としての問題マップを示す図である。

【符号の説明】

17

- 10 中央処理装置 (CPU)
- 11 入出力装置
- 12 メモリ
- 12 a プログラム格納領域
- 12 b グラフデータ格納領域
- 13 グラフデータ
- 13 a ノードデータ

【図1】

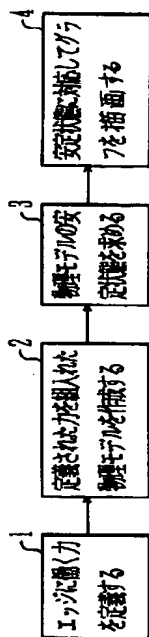
【図3】

18

- 13 b エッジデータ
- 14 磁場データ
- 15 総合管理部
- 16 初期配置計算部
- 17 修正量計算部
- 18 位置修正部
- 19 繰返し管理部

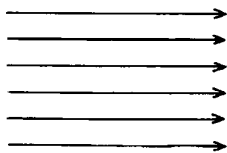
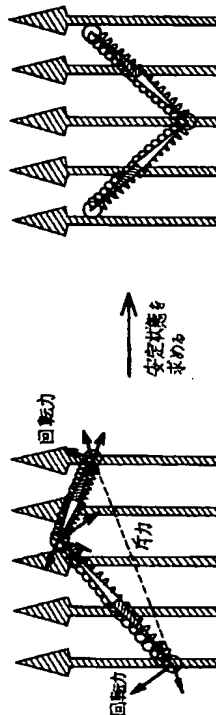
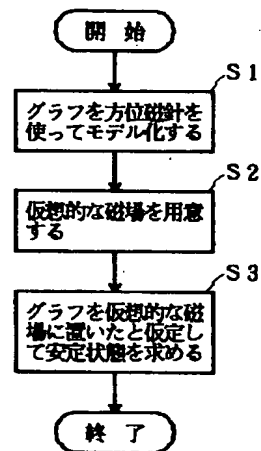
【図4】

本発明の機能ブロック図



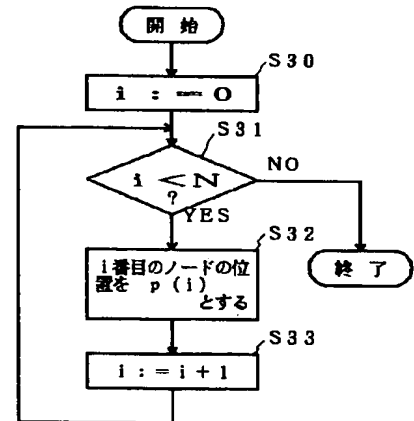
【図13】

平行磁場の説明図

マグネティック・スプリングを用いた物理モデルによる
グラフのレイアウトの説明図本発明のグラフ自動レイアウト方法
の原理的なフローチャート

【図7】

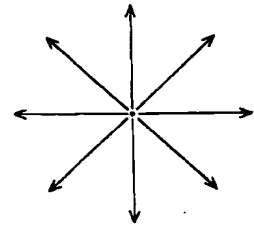
初期配置の詳細処理フローチャート



【図2】

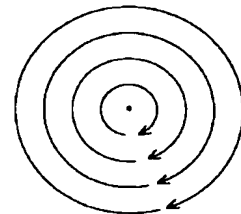
【図23】

放射状磁場の説明図

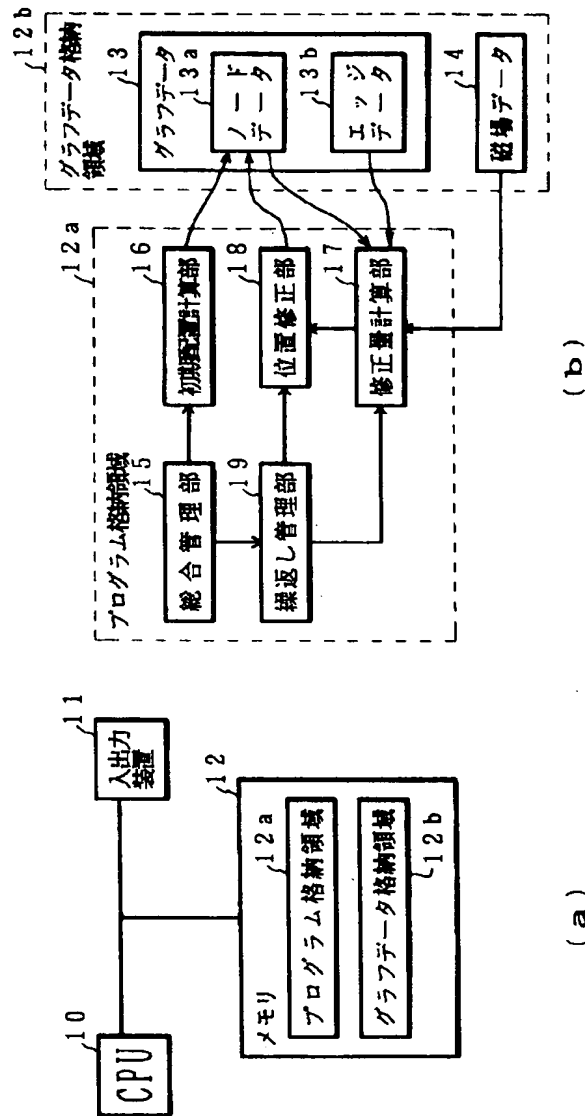


【図25】

同心円磁場の説明図

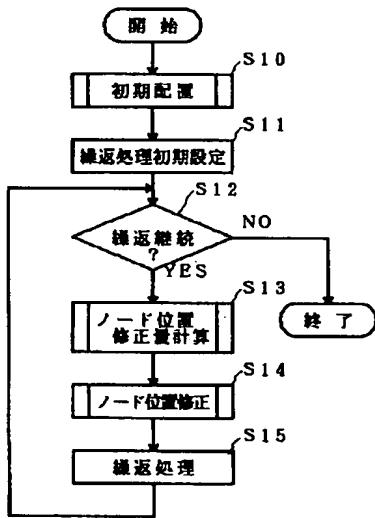


本発明のグラフ自動レイアウト方法を
実現するためのコンピュータシステムの構成を示すブロック図



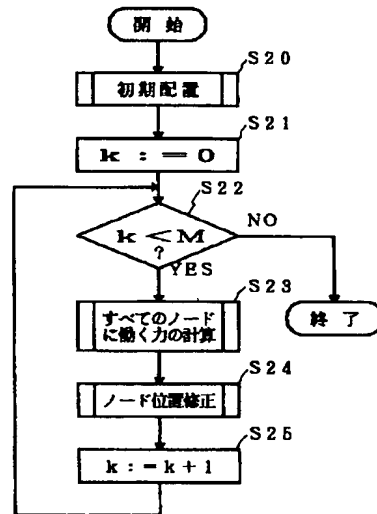
【図5】

本発明のグラフ自動レイアウト方法
の一般的な全体の処理手順の説明図



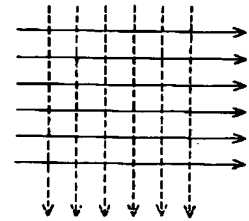
【図6】

グラフ自動レイアウト方法の
実施例の全体処理フローチャート



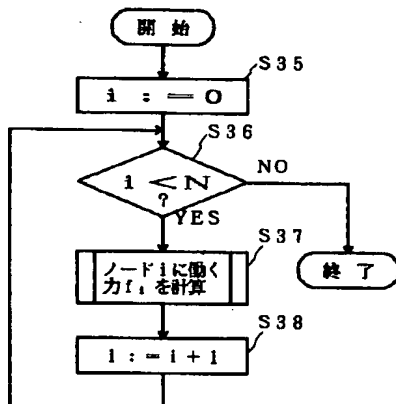
【図27】

直交平行磁場の説明図



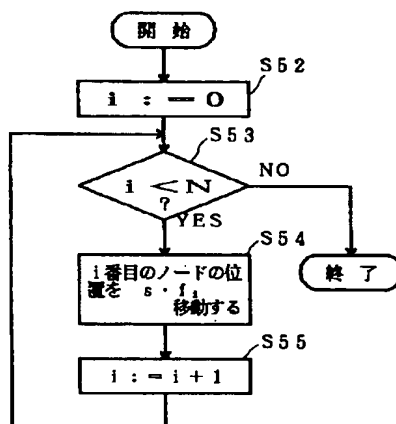
【図8】

すべてのノードに働く力の
計算処理の詳細フローチャート



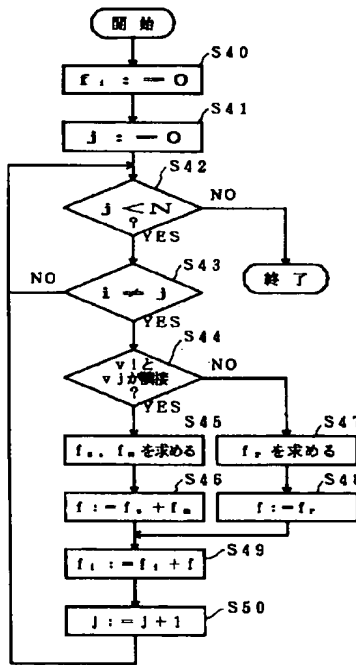
【図11】

ノード位置修正処理の詳細フローチャート



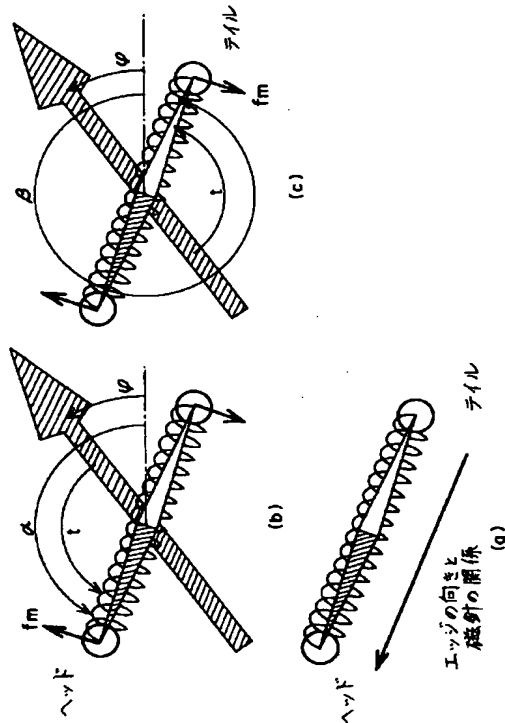
【図9】

1つのノードに働く力の計算処理の詳細フローチャート



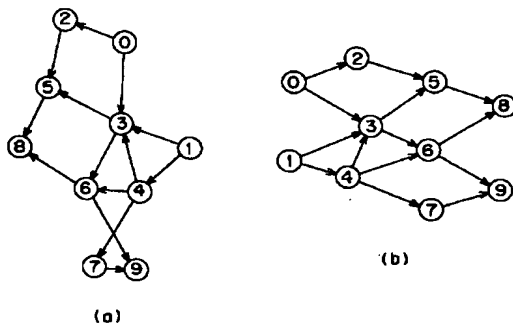
【図10】

式(6)および式(7)の説明図



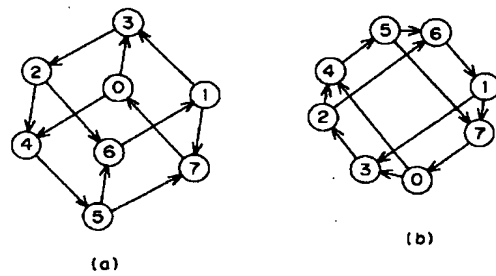
【図14】

平行磁場による有向グラフのレイアウトの例を示す図



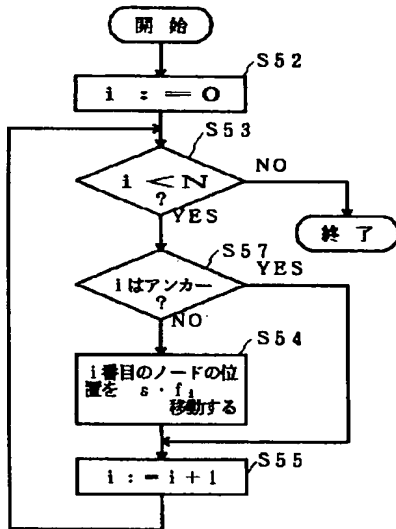
【図26】

同心円磁場によるグラフのレイアウトの例を示す図



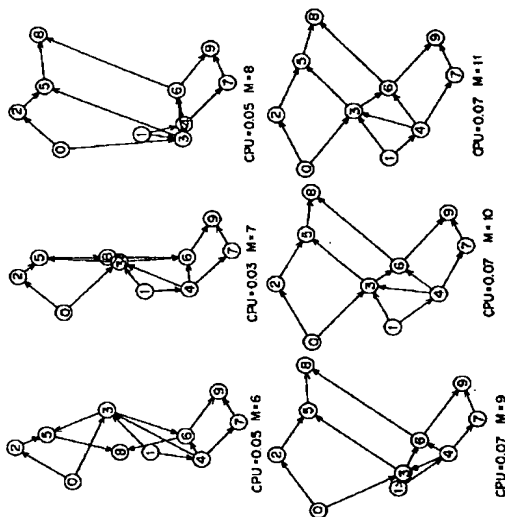
【図12】

ノード位置修正処理の他の実施例のフローチャート



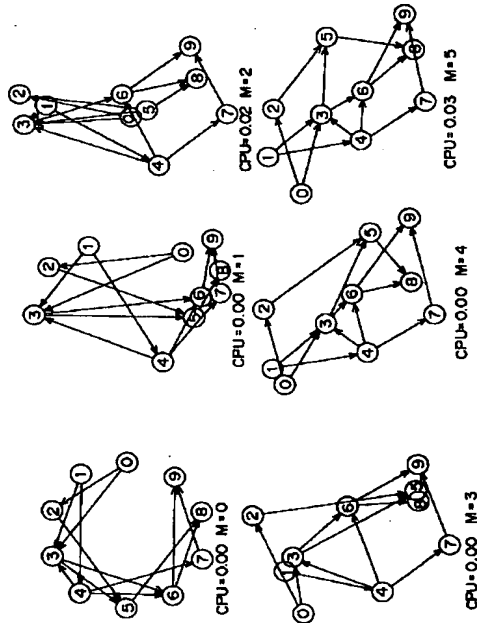
【図19】

図14(a)の結果から(b)の結果を得るまでの自動レイアウト処理における途中経過の説明図 (その2)



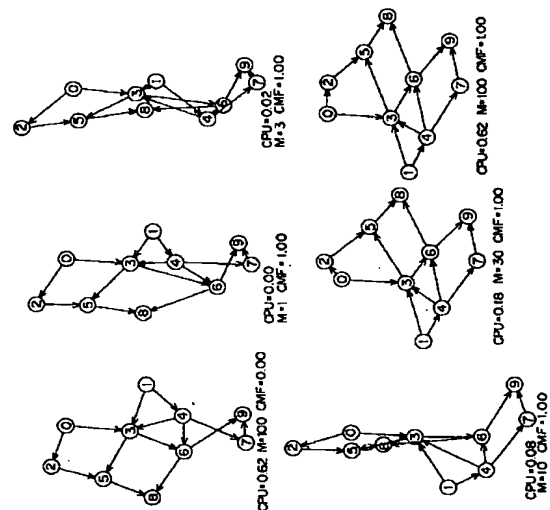
【図15】

初期配置から図14(b)のレイアウト結果を得るまでの途中経過の説明図 (その1)

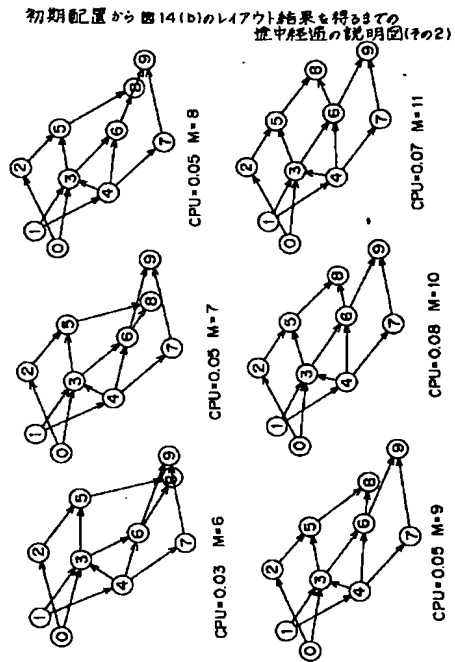


【図20】

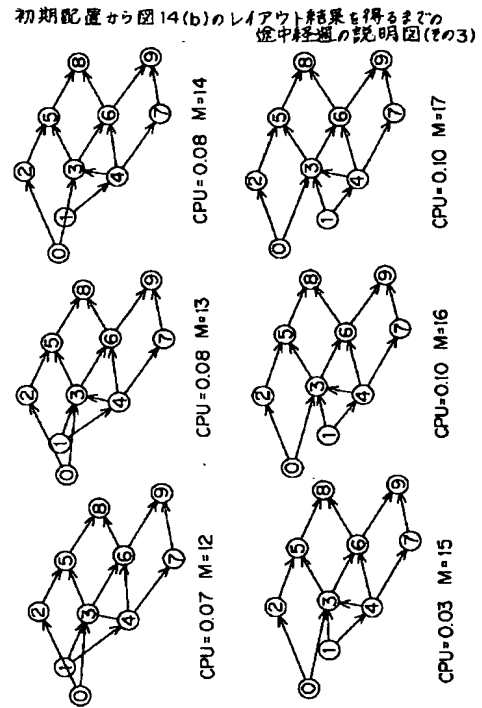
一部のノードをアンカーとして固定した場合の図14(a)から(b)を得るまでの途中経過の説明図



【図16】

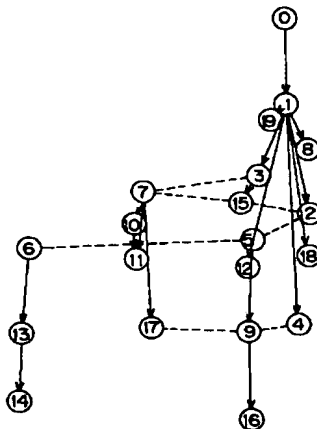


【図17】



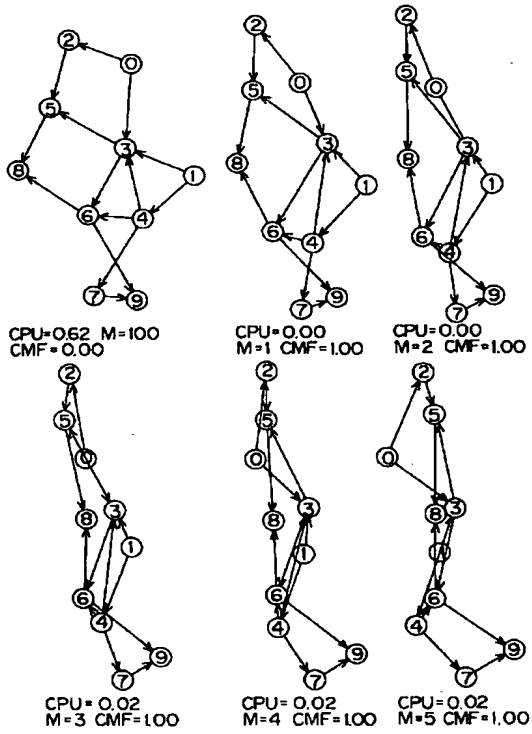
【図29】

直交平行磁場による混在グラフの
レイアウトの例を示す図



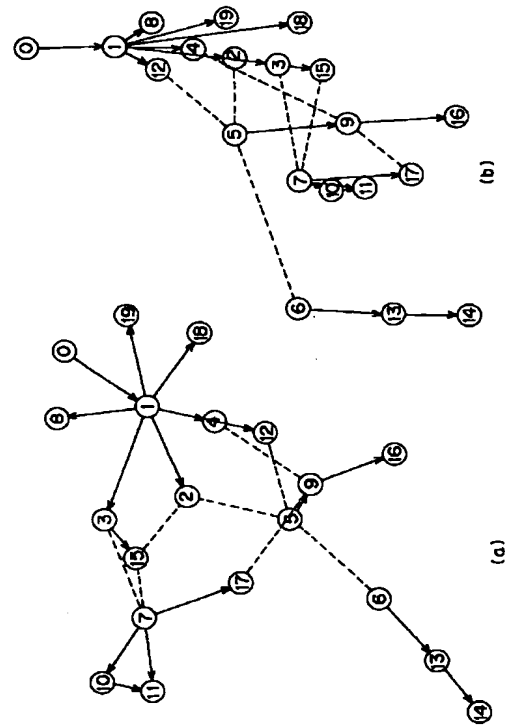
【図18】

図14(a)の結果から(b)の結果を得るまでの
自動レイアウト処理における途中経過の説明図(その1)

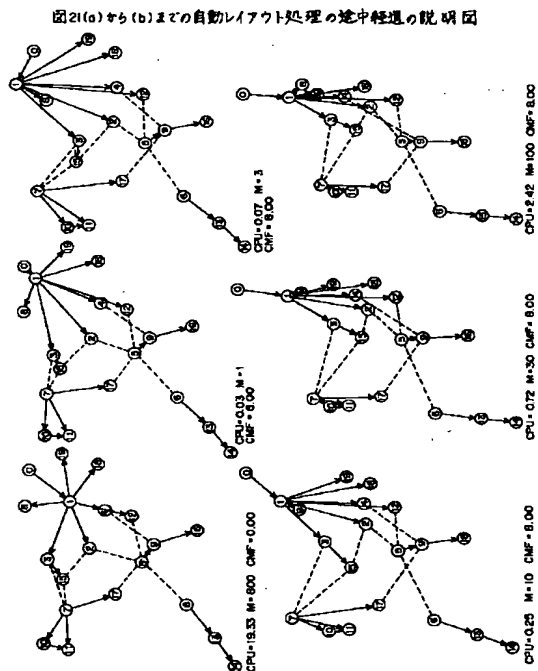


【図21】

平行磁場による混在グラフのレイアウトの例を示す図

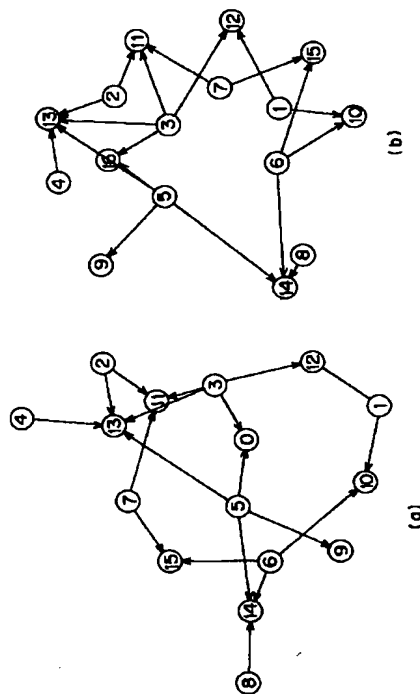


【図22】



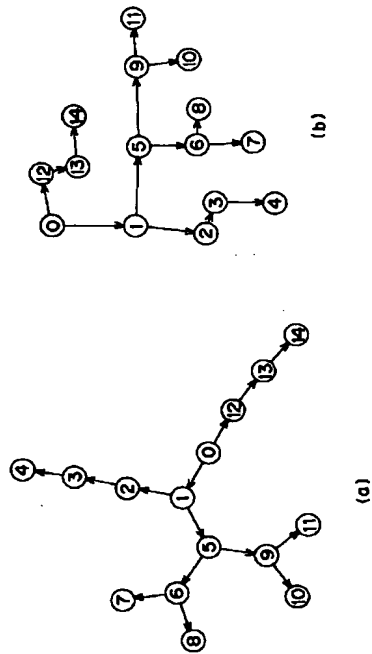
【図24】

放射状磁場によるグラフのレイアウトの例を示す図



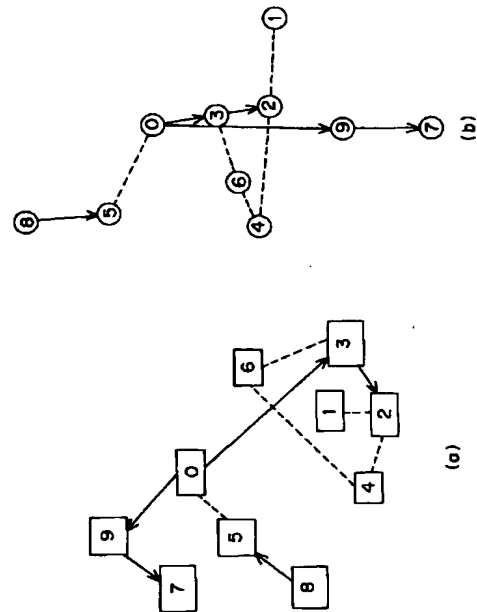
【図28】

直交平行磁場によるグラフのレイアウトの例を示す図



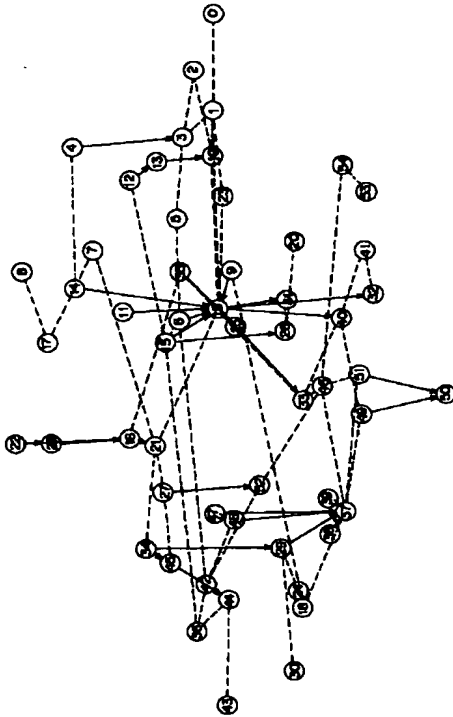
【図30】

比較的に簡単な問題 マップの例の
自動レイアウトの例を示す図



【図31】

図33の問題マップの全体の自動レイアウト結果を示す図



【図32】

従来の力指向法におけるスプリングを用いたモデルによるグラフのレイアウトの説明図

